



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-065201

(43)Date of publication of application : 06.03.1998

(51)Int.Cl. H01L 31/10  
H01L 21/306  
H01L 21/308

(21)Application number : 09-130042 (71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO  
LTD:THE

(22)Date of filing : 20.05.1997 (72)Inventor : NISHIKATA KAZUAKI  
HIRAIWA KOJI

## (30)Priority

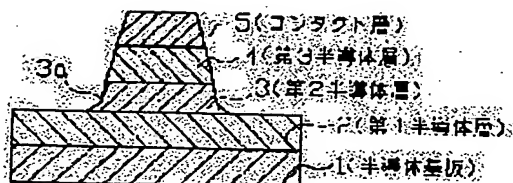
Priority number : 08152153 Priority date : 13.06.1996 Priority country : JP

## (54) SEMICONDUCTOR WAVEGUIDE TYPE LIGHT-RECEIVING ELEMENT AND FABRICATION THEREOF

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress generation of leak current on the side face of a mesa stripe or the end face of a cleavage by curving at least the side face of a light absorption layer and/or the end face cleavage in the mesa stripe of a semiconductor waveguide.

SOLUTION: First semiconductor layer 2, a second semiconductor layer 3, a third semiconductor layer 4 and a contact layer 5 are formed on a semiconductor substrate 1. A mesa stripe is formed at the upper part of the first semiconductor layer 2, while extending in the direction of the guiding light. The second semiconductor layer 3 has curved side face 3a. Unit cell of the curved surface has a larger area than a planar unit cell, and the density of dangling coupling is decreased. Furthermore, the leak path is lengthened and the field strength is lowered, thus suppressing the generation of leak current.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-65201

(43)公開日 平成10年(1998) 3月6日

(51)Int.Cl. <sup>4</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 31/10			H 0 1 L 31/10	A
21/306			21/308	C
21/308			21/306	Z

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 9 頁)

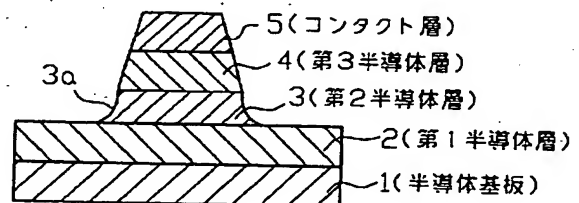
(21)出願番号	特願平9-130042	(71)出願人	000005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(22)出願日	平成9年(1997)5月20日	(72)発明者	西片 一昭 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古 河電気工業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平8-152153	(72)発明者	平岩 浩二 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古 河電気工業株式会社内
(32)優先日	平8(1996)6月13日	(74)代理人	弁理士 長門 侃二
(33)優先権主張国	日本 (J P)		

(54)【発明の名称】 半導体導波路型受光素子とその製造方法

## (57)【要約】

【課題】 リーク電流の発生が抑制され、暗電流特性が優れている半導体導波路型受光素子とその製造方法を提供する。

【解決手段】 この半導体導波路型受光素子は、pまたはn型の第1半導体層2と、第1半導体層2よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層3と、第2半導体層3よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ、第1半導体層2とは逆導電型の第3半導体層4とがこの順序で積層されて成る積層構造が半導体基板1の上に形成され、積層構造の少なくとも第2半導体層3を含む上部部分がメサストライプをなしている半導体導波路を有する受光素子において、少なくとも第2半導体層3の側面または／および劈開端面が曲面3aになっている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 pまたはn型の第1半導体層と、前記第1半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層と、前記第2半導体層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ、前記第1半導体層とは逆導電型の第3半導体層とがこの順序で積層されて成る積層構造が半導体基板の上に形成され、前記積層構造の少なくとも前記第2半導体層を含む上部部分がメサストライプをなしている半導体導波路を有する受光素子において、少なくとも前記第2半導体層の側面または／および劈開端面が曲面になっていることを特徴とする半導体導波路型受光素子。

【請求項2】 半導体基板の上に、pまたはn型の第1半導体層と、前記第1半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層と、前記第2半導体層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ前記第1半導体層とは逆導電型の第3半導体層とをこの順序で積層して積層構造を形成する工程；前記積層構造にエッチング処理を行って少なくとも前記第2半導体層を含む上部部分をメサストライプ形状にする工程；とを備えている半導体導波路型受光素子の製造方法において、少なくとも前記第2半導体層のエッチング処理時には、酒石酸を含有する溶液、臭素を含有する溶液、または塩酸と酢酸と過酸化水素水との混合液のいずれかを用いることを特徴とする半導体導波路型受光素子の製造方法。

【請求項3】 半導体基板の上に、pまたはn型の第1半導体層と、前記第1半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層と、前記第2半導体層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ前記第1半導体層とは逆導電型の第3半導体層とをこの順序で積層して積層構造を形成する工程；前記積層構造にエッチング処理を行って少なくとも前記第2半導体層を含む上部部分をメサストライプ形状にする工程；とを備えている半導体導波路型受光素子の製造方法において、形成すべき前記メサストライプの方向をエッチング時に逆メサの出る方向に設定し、前記第2半導体層のエッチング処理時に、前記メサストライプの側面に対してはメタノールと臭素との混合溶液を用い、劈開端面に対しては酒石酸を含有する溶液を用いることを特徴とする半導体導波路型受光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体導波路型受光素子とその製造方法に関し、更に詳しくは、実働時におけるリーク電流が低減し、低暗電流特性に優れている半導体導波路を有する受光素子とそれを製造する方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来から知られている受光素子用の半導体導波路の断面構造を図9に示す。この半導体導波路

は、半導体基板の上に、n型クラッド層、低キャリア濃度の光吸収層、p型クラッド層、コンタクト層がこの順序で積層されて半導体の積層構造が形成されている。

【0003】そして、n型クラッド層よりも上の積層構造の部分は、光の導波方向（紙面と直交する方向）に延びるメサストライプになっていて、当該メサストライプの側面が誘電体膜で被覆されている。更に、コンタクト層の上に電極（図示しない）が装荷され、また半導体基板の背面にも電極（同じく図示しない）が装荷されていることにより受光素子が構成される。

【0004】ここで、光吸収層のバンドギャップエネルギーは、その上下に位置するp型クラッド層とn型クラッド層のバンドギャップエネルギーよりも小さく設定され、この光吸収層の光入射端面から入射した信号光は当該光吸収層を導波するようになっている。そして、p型クラッド層とn型クラッド層の間に逆電圧を印加すると、低キャリア濃度の光吸収層内に空乏層が形成され、この空乏層内に発生する高電界によって光吸収層を導波する信号光が光電変換される。

【0005】すなわち、この受光素子の場合、入射した信号光によって発生した空乏層内の励起キャリアが光電流として検出される。励起キャリアは、空乏層内に発生している電界によって分離・ドリフトし、励起キャリアがホールの場合はp型クラッド層、電子の場合はn型クラッド層に到達して光電流に寄与する。また、半導体の積層構造を図9で示したようなメサストライプ形状にする理由は、受光素子の動作速度を高めるためである。

【0006】すなわち、受光素子の動作速度を高めるためには、前記した逆電圧の印加時に空乏層内に発生する電気容量を小さくすることが必要であるが、そのことは、光吸収層の断面積を小さくし、したがって、逆電圧印加時に形成される空乏層の断面積も小さくすることによって有効に実現することができるからである。その場合、原理的には光吸収層の部分のみをメサストライプ状にエッチング加工すればよいわけであるが、実際の製作上は、図9で示したように、n型クラッド層よりも上の部分がメサストライプ状に加工される。なお、このときに、n型クラッド層の一部も同時にエッチング加工されることもある。

【0007】また、誘電体膜は、受光素子の動作時に、メサストライプの側面を流れるリーク電流を低減するために設けられている。すなわち、リーク電流は、メサストライプの側面における表面準位や欠陥を介して流れることが知られているが、ここを誘電体膜で被覆することにより、表面準位や欠陥の影響が封殺されるのである。

【0008】一方、上記した受光素子の場合、素子に光を効率よく入射させるために、通常、劈開によって端面出しが行われている。劈開によって形成された端面は、原子レベルで平坦であり、光は散乱することなく導波路に進入できるからである。そして、この端面を、SiO

、 $\text{SiNx}$ から成る無反射膜で被覆して、入射する光の反射を抑制することが行われている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記した構造の受光素子における最大の問題は、当該受光素子の動作時に、前記したメサストライプの側面にリーク電流が流れるという問題である。このリーク電流の発生を抑制するためには、前記したように、メサストライプの側面を誘電体膜で被覆することが行われているが、このような処置を施しても、リーク電流の発生を必ずしも十分に抑制できていないという問題がある。

【0010】また、本発明者らの知見によれば、劈開した端面においても、可成り大きなリーク電流が発生しているという問題がある。本発明は、上記した半導体導波路型受光素子の動作時におけるメサストライプ側面や劈開端面でのリーク電流の発生を抑制することができる新規な半導体導波路型受光素子とその製造方法の提供を目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記した目的を達成するために鋭意研究を重ねる過程で、半導体における表面準位の密度はダングリング結合の密度の影響を強く受けるということに着目した。具体的には、ダングリング結合の密度が高くなると、当該半導体の表面準位は金属的になっていくという事実である。

【0012】この観点に立つて、前記した半導体の積層構造をエッチングしてメサストライプを形成する場合について以下のような考察を加えた。すなわち、メサストライプの形成時には、通常、ウェットエッチングまたはドライエッチングが採用されているが、通常のエッチング条件を採用した場合、例えば $\text{GaInAsP}$ 層を臭化メタノールなどのエッチャントでエッチングした場合には、形成されるメサストライプの側面は(111)面、(110)面、(100)面のような低指数面になることが知られている。

【0013】また、化学的な反応の強いメタンガス系のドライエッチングの場合や、物理的な反応の強い塩素系のドライエッチングの場合には、上記したと同様に低指数面になることが知られている。しかしながら、これら(111)面などの低指数面の場合、その単位胞内における原子数は多いので、ダングリング結合数も多くなっている。

【0014】例えば、 $\text{InP}$ に格子整合した $\text{GaInAs}$ の場合、その(111)面におけるダングリング結合の密度は、 $6.7 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ と非常に高いレベルにある。このような状態における表面準位は金属的になっていて、リーク電流が流れやすい状態になっていると考えられる。(110)面、(100)面などの他の低指数面の場合も同様である。

【0015】一方、前記した劈開端面の場合、通常の劈

開条件で劈開して形成した端面もまた、(011)面などの低指数面になっていることが知られている。したがって、この端面(劈開面)においても、上記したと同様の理由でその表面準位は金属的となっていて、リーク電流が流れやすい状態になっていると考えられる。

【0016】本発明者らは、このような考察の結果、エッチングによって表出したメサストライプの側面または劈開によって表出した端面におけるダングリング結合の密度が低減すれば、リーク電流の発生を抑制することができるとの着想を抱き、この着想に基づいて鋭意研究を重ねた結果、本発明の半導体導波路型受光素子とその製造方法を開発するに至った。

【0017】すなわち、本発明においては、 $p$ または $n$ 型の第1半導体層と、前記第1半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層と、前記第2半導体層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ、前記第1半導体層とは逆導電型の第3半導体層とがこの順序で積層されて成る積層構造が半導体基板の上に形成され、前記積層構造の少なくとも前記第2半導体層を含む上部部分がメサストライプをなしている半導体導波路を有する受光素子において、少なくとも前記第2半導体層の側面または／および劈開端面が曲面になっていることを特徴とする半導体導波路型受光素子と、半導体基板の上に、 $p$ または $n$ 型の第1半導体層と、前記第1半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層と、前記第2半導体層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ前記第1半導体層とは逆導電型の第3半導体層をこの順序で積層して積層構造を形成する工程；前記積層構造にエッチング処理を行って少なくとも前記第2半導体層を含む上部部分をメサストライプ形状にする工程；とを備えている半導体導波路型受光素子の製造方法において、少なくとも前記第2半導体層のエッチング処理時には、酒石酸を含有する溶液、臭素を含有する溶液、または塩酸と酢酸と過酸化水素水との混合液のいずれかを用いることを特徴とする半導体導波路型受光素子の製造方法が提供される。

【0018】更に本発明においては、半導体基板の上に、 $p$ または $n$ 型の第1半導体層と、前記第1半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい第2半導体層と、前記第2半導体層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ前記第1半導体層とは逆導電型の第3半導体層とをこの順序で積層して積層構造を形成する工程；前記積層構造にエッチング処理を行って少なくとも前記第2半導体層を含む上部部分をメサストライプ形状にする工程；とを備えている半導体導波路型受光素子の製造方法において、形成すべき前記メサストライプの方向をエッチング時に逆メサの出る方向に設定し、前記第2半導体層のエッチング処理時に、前記メサストライプの側面に対してはメタノールと臭素との混合溶液を用い、劈開端面に対しては酒石酸を含有する溶液を用いる

ことを特徴とする半導体導波路型受光素子の製造方法が提供される。

【0019】

【発明の実施の形態】図1に基づいて、本発明の受光素子の製作に用いる半導体導波路について詳細に説明する。図1において、半導体基板1の上には、第1半導体層2、第2半導体層3、第3半導体層4、およびコンタクト層5がこの順序で積層されて積層構造が形成されている。そして、この積層構造における第1半導体層2よりも上部の部分は、光の導波方向（紙面と垂直の方向）に延びるメサストライプになっている。

【0020】なお、このメサストライプは、図のように、第1半導体層2よりも上部だけに形成されていることに限定されるものではなく、第1半導体層2の一部も含めた状態で形成されていてもよい。ここで、第1半導体層2はn型またはp型の導電型であり、下部クラッド層として機能し、この第1半導体層2の上に積層されている第2半導体層3は前記第1半導体層2よりもバンドギャップエネルギーが小さく、光吸収層として機能する。

【0021】そして、第2半導体層3の上に積層されている第3半導体層4は、前記第2半導体層3よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ、前記第1半導体層2とは逆導電型であって、上部クラッド層として機能する。その上のコンタクト層5はこの上に装荷される電極とのオーミック接続を果たすために設けられている。

【0022】このメサストライプにおいて、少なくとも第2半導体層（光吸収層）3の側面3aは曲面になっている。このような曲面の場合、そこにおける単位胞の面積が、平面である前記した低指数面における単位胞の面積に比べて大きくなるので、ダングリング結合の密度は低減する。また、曲面においては、結晶の表面エネルギーを下げるようにダングリング結合間での結合が促進されることになるため、単位胞におけるダングリング結合の密度は低下し、更には、曲面であるために、リークパスが長くなって電界強度は低下する。このようなことの総合的な結果として、この曲面においては、リーク電流の発生が顕著に抑制されることになる。

【0023】なお、本発明においては、光が導波し、かつ逆電圧印加時に空乏層が形成されなければならない第2半導体層（光吸収層）3の側面3aは少なくとも部分的には曲面でなければならず、他の半導体層は平坦面であってもよく、また第2半導体層3の場合と同様な曲面であってもよい。また、図1においては、第2半導体層3の側面3aは内側に凸となる曲面であるが、図2で示したように、外側に凸となる曲面3aであってもよい。更に、この曲面は、全体として一定の曲率半径を有する曲面であることに限定されるものではなく、位置によって曲率半径が異なってもよい。その場合、曲率半径は格別限定されるものではないが、5～200μmの

範囲内に設定することが好ましい。

【0024】なお、図1は、本発明の半導体導波路型受光素子における半導体導波路の典型的な基本構成を例示するものであって、第1半導体層（下部クラッド層）2を省略して構成した場合も当然本発明に含まれる。また、第2半導体層（光吸収層）3の上下に他の光導波路層を付加する場合でも同様に本発明は成立するが、この場合も少なくとも第2半導体層3の側面を曲面とすれば上記した本発明の効果を得ることができる。

【0025】この半導体導波路は次のようにして製造することができる。まず、半導体基板1の上に、常法により、第2半導体層3、第3半導体層4、およびコンタクト層5をこの順序で積層して積層構造を形成する。ついで、この積層構造にエッチング処理を行って、図1で示したようなメサストライプを形成する。エッチング処理としては、常用のドライエッチング、ウェットエッチングを適用することができる。

【0026】そして、このエッチング処理時に、メサストライプにおける少なくとも第2半導体層3の側面のエッチングに関しては、水飽和酒石酸を含有する溶液、臭素を含有する溶液、塩酸と酢酸と過酸化水素との混合液をエッチャントとして用いたウェットエッチングが行われる。そのことにより、第2半導体層3の側面3aは曲面になる。

【0027】エッチャントとしては、例えば、第2半導体層3がAlGaInAs系材料である場合には水飽和酒石酸と過酸化水素との混合液を用いることが好適である。このとき、酒石酸濃度やエッチング時の温度を変えることにより、形成される曲面の曲率半径の大小を制御することができる。この場合、水飽和酒石酸と過酸化水素との混合比は、20:1～20:2の範囲に設定することが好ましい。両者の混合比がこの範囲内にあるときには、エッチング速度はほとんど変化せず、安定した使用領域になっている。そして、この範囲内にあるときには、エッチング速度は温度変化に対しても鈍感であるため厳しい温度管理は不要になるが、過酸化水素は蒸発しやすいので、温度は18～25℃に設定することが好ましい。

【0028】また、第2半導体層3がGaInAsP系材料である場合には、まず、ドライエッチングで側面が平坦なメサストライプを形成したのち、臭素系のエッチャント、例えば、水飽和臭素と臭化水素と水との混合液；塩酸と酢酸と水との混合液；水飽和酒石酸と水との混合液；などでウェットエッチングすることが好適である。

【0029】水飽和臭素と臭化水素と水との混合液の場合、これらの混合比を1:1:10程度に設定することが好ましい。また、低温で使用すると、反応むらなどが起こりやすくなるので、使用温度は18～20℃程度に設定することがよい。上記した混合液の場合、エッチン

グ対象がGaInAsPのとき、その組成がどのような組成であってもエッチング速度は変わらない。すなわち、この混合液は等速エッチャントであるため、異なる組成のGaInAsPから成る積層構造を有する半導体導波路型受光素子における整形処理に用いて最適である。

【0030】また、塩酸と酢酸と水との混合液の場合、これらの混合比を1:2:1程度に設定することが好ましい。この混合液は、その調製時に反応熱が発生して溶液温度が上昇するので、18~25℃程度に冷却して使用する。このようにして製造された半導体導波路の表面を誘電体膜で被覆し、更にコンタクト層5や半導体基板1の裏面に常法により電極をそれぞれ装荷し、また光の入射端面に無反射膜を形成することにより、本発明の受光素子が得られる。

【0031】上記の説明は、メサストライプの側面におけるリーク電流の発生を抑制する場合であるが、前記したように、リーク電流は光の入射面である劈開端面においても発生する。それを抑制するためにも、劈開した端面における少なくとも第2半導体層（光吸収層）3に対し、前記したメサストライプの側面の場合と同じ状態で当該端面を曲面にすればよい。

【0032】なお、劈開端面における第2半導体層3の光入射端面を曲面にすると、そこにおけるリーク電流の発生を抑制できるとともに、当該曲面のレンズ効果により感度向上も得られるので好適である。

【0033】

【実施例】

実施例1

図3で示した層構造の半導体導波路を次のようにして製造した。キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn-InP基板11の上に、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.2 \mu\text{m}$ で厚み $3 \mu\text{m}$ のn-AlGaInAs層（光閉じ込め層）12、バンドギャップ波長 $1.4 \mu\text{m}$ で厚み $0.07 \mu\text{m}$ のノンドープAlGaInAs層（光吸収層）13、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.4 \mu\text{m}$ で厚み $3 \mu\text{m}$ のp-AlGaInAs層（光閉じ込め層）14、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で厚み $2 \mu\text{m}$ のp-InPクラッド層15、および、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.15 \mu\text{m}$ で厚み $0.3 \mu\text{m}$ のp-GaInAsP層（コンタクト層）16を積層した。

【0034】なお、これらの半導体層はいずれもn-InP基板11と格子整合する組成に選択されている。また、ノンドープAlGaInAs層（本発明でいう第2半導体層）13と接触しているn-AlGaInAs層（本発明でいう第1半導体層）およびp-AlGaInAs層（本発明でいう第3半導体層）における $0.3 \mu\text{m}$ の領域はノンドープの状態にしてある。

【0035】この積層構造に対し、次のようなエッチン

グ処理を行ってメサストライプを形成した。なお、形成すべきメサストライプの方向は、エッチングによって逆メサの出る方向、すなわち、(011)面方向とした。

(1) まず、水飽和酒石酸と過酸化水素を体積比で2

05 0:1に混合して成る溶液(A)を用いて、室温下で、p-GaInAsP層16をエッチングした。この場合、エッチングにより形成されるメサストライプの側面は平坦面になる。そして、この溶液(A)はInPを溶解しないので、エッチングはp-InPクラッド層15の表面で自動的に停止した。

【0036】(2) 次に、塩酸とリン酸を体積比で3:1に混合して成る溶液(B)を用いて、室温下で、p-InPクラッド層15をエッチングした。この場合、エッチングにより形成されるメサストライプ側面の形状  
15 は、(1)で示したメサストライプ側面よりも傾斜が若干ゆるやかな平坦面であった。また、この溶液(B)はAlGaInAsを溶解しないので、エッチングはp-AlGaInAs層（光閉じ込め層）14の表面で自動的に停止した。

【0037】(3) 更に、上記した溶液(A)を用いて、室温下で、p-AlGaInAs層（光閉じ込め層）14、ノンドープAlGaInAs層（光吸収層）13をエッチングし、n-AlGaInAs層（光閉じ込め層）12を $0.2 \mu\text{m}$ 程度エッチングした時点でエッ  
25 チングを終了した。エッチングの深さはエッチング時間により制御した。

【0038】その結果、メサストライプの側面におけるn-AlGaInAs層12の一部、ノンドープAlGaInAs層13、およびp-AlGaInAs層14  
30 の部分には、内側に凸になっている曲面が形成された。この曲面を走査電顕で観察して曲率半径を測定したところ $15 \mu\text{m}$ であり、またメサストライプ全体の平均的な傾斜角度は $50^\circ$ 程度になっていた。

【0039】その後、全体の表目に誘電体膜を形成し、メサストライプ上面部の誘電体膜を部分的に除去し、p-GaInAsP層16の上に $50 \mu\text{m}$ 角のp型オーミック電極を蒸着により形成し、n-InP基板11の裏面にはn型オーミック電極を蒸着・装荷した。また、光の入射する側の端面にはSiNxを蒸着して無反射膜を  
40 形成して受光素子を製造した。

【0040】この受光素子は、波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光は吸収するが、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光は吸収しない波長選別機能を備えている。この受光素子に、モードフィールド径が $6 \mu\text{m}$ の光ファイバーから信号光を入射して受光感度を測定した。波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光を $0.9 \text{A/W}$ という高感度で受光した。  
45

【0041】また、逆バイアス電圧3Vにおいて暗電流を測定したところ、素子100個の平均値で $10 \text{pA}$ と極めて低かった。従来の導波路型受光素子の暗電流は $1 \text{nA}$ から $10 \text{nA}$ 程度であったことからすれば、暗電流



特性が3桁から4桁程度改善されたことになる。なお、本実施例における暗電流特性の向上をその原因で解析すると、拡散電流は無視できるほど微量、入射端面に流れる電流が4 pA、界面と光吸収層で発生する発生電流が6 pAであり、メサストライプの側面に流れる表面電流は検知限界以下であった。このことから明らかなように、メサストライプの側面を曲面にすることにより、そこを流れる表面電流が低減し暗電流の大きな改善がもたらされていることが確認された。

#### 【0042】実施例2

図4で示した層構造の半導体導波路を次のようにして製造した。キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn-InP基板21の上に、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.2 \mu\text{m}$ で厚み $3 \mu\text{m}$ のn-GaInAsP層(光閉じ込め層)22、バンドギャップ波長 $1.65 \mu\text{m}$ で厚み $2 \mu\text{m}$ のノンドープGaInAs層(光吸収層)23、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.2 \mu\text{m}$ で厚み $3 \mu\text{m}$ のp-GaInAsP層(光閉じ込め層)24、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で厚み $2 \mu\text{m}$ のp-InPクラッド層25、および、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.65 \mu\text{m}$ で厚み $0.3 \mu\text{m}$ のp-GaInAs層(コンタクト層)26を積層した。

【0043】なお、これらの半導体層はいずれもn-InP基板21と格子整合する組成に選択されている。この積層構造に対し、次のようなエッチング処理を行ってメサストライプを形成した。形成すべきメサストライプの方向は実施例1と同じ方向にした。

(1) まず、臭素とメタノールを体積比で300:1に混合して成る溶液(C)を用いて、室温下で、p-GaInAs層26から、n-GaInAsP層(光閉じ込め層)22までをエッチングした。エッチング量はエッチング時間で制御し、n-GaInAsP層(光閉じ込め層)22を $0.5 \mu\text{m}$ 程度エッチングした時点でエッチングを終了してメサストライプを形成した。

【0044】形成されたメサストライプの側面は、傾斜角が $54^\circ$ 程度の平坦な(111)面である。

(2) ついで、水飽和臭素と臭化水素と純水とを体積比で1:1:10に混合して成る溶液(D)を用い、温度 $21^\circ\text{C}$ で前記メサストライプの側面をエッチングした。

【0045】エッチング後のメサストライプを走査電顕で観察したところ、その側面は、図4で示したように、各半導体層の湾曲の程度は異なっているが、n-GaInAsP層22、ノンドープGaInAs層23、p-GaInAsP層24では外側に凸の曲面になっており、その曲率半径は $62.5 \mu\text{m}$ 程度であった。この半導体導波路を用いて、以後は、実施例1と同様にして誘電体膜、電極を形成することにより受光素子にした。

【0046】この受光素子は、波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光と波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光の両者を吸収できる機能を備えている。

この受光素子に、モードフィールド径が $6 \mu\text{m}$ の光ファイバーから信号光を入射して受光感度を測定した。波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光に対しては $0.95 \text{A/W}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対しては $1.0 \text{A/W}$ という高い値を示した。

05 【0047】また、逆バイアス電圧3Vにおいて暗電流を測定したところ、素子100個の平均値は $100 \text{pA}$ であった。従来の素子の場合に比べて、暗電流特性は2桁から3桁改善されている。

#### 実施例3

10 実施例2で示した積層構造に対し、次のようなエッチング処理を行って図5で示したような側面形状のメサストライプを形成した。形成すべきメサストライプの方向は実施例1の場合と同じである。

【0048】(1) まず、エッチャントとして塩素ガスを用い、p-GaInAs層26からn-GaInAsP層22までをドライエッチングした。エッチング処理は、n-GaInAsP層22を $0.2 \mu\text{m}$ 程度エッチングした時点で終了した。なお、ドライエッチングの場合は、使用する反応ガスとエッチング条件を選定することにより、任意の角度でエッチングすることができるが、この実施例では、メサストライプの側面がn-InP基板21に対して垂直な平面となるような条件を選定した。

【0049】(2) ついで、前記した溶液(D)を用いて、形成されているメサストライプの垂直な平面をエッチングした。エッチング後のメサストライプを走査電顕で観察したところ、その側面は、図5で示したように、各半導体層の湾曲の程度は異なっているが、n-GaInAsP層22は内側に凸の曲面、ノンドープGaInAs層23も内側に凸の曲面、p-GaInAs層24は外側に凸の曲面になっており、その曲率半径は $100 \mu\text{m}$ 程度であった。

【0050】この半導体導波路を用いて、以後は、実施例2と同様にして誘電体膜、電極を形成することにより受光素子にした。この受光素子に、モードフィールド径が $6 \mu\text{m}$ の光ファイバーから信号光を入射して受光感度を測定した。波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光に対しては $0.95 \text{A/W}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光に対しては $1.0 \text{A/W}$ という高い値を示した。

40 【0051】また、逆バイアス電圧3Vにおいて暗電流を測定したところ、素子100個の平均値は $100 \text{pA}$ であった。メサストライプの側面形状は、実施例2の場合と異なっているが、この実施例3の受光素子は、実施例2の受光素子と同じ暗電流特性を示している。

#### 45 実施例4

まず、メサストライプの側面が図6で示したような形状になっている半導体導波路を次のようにして製造した。

【0052】キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn-InP基板31の上に、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長 $1.15 \mu\text{m}$ で厚み $0.5 \mu\text{m}$ のn-GaI



nAsP層（光閉じ込め層）32、バンドギャップ波長1.4 $\mu$ mで厚み3 $\mu$ mのノンドープGaInAsP層（光吸収層）33、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長1.15 $\mu$ mで厚み2 $\mu$ mのp-GaInAsP層（光閉じ込め層）34、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で厚み2.1 $\mu$ mのp-InPクラッド層35、および、キャリア濃度 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、バンドギャップ波長1.15 $\mu$ mで厚み0.3 $\mu$ mのp-GaInAsP層（コンタクト層）36を積層した。

【0053】なお、これらの半導体層はいずれもn-InP基板31と格子整合する組成に選択されている。ついで、上記積層構造のコンタクト層36の上に厚み0.1 $\mu$ mのSiNx膜を形成したのち更にその上にレジスト膜を形成し、ホトリソグラフィ技術を適用することにより形成すべきストライプのパターンを描画した。形成すべきメサストライプの方向は、メサ形状が逆メサになる方向、すなわち（0-11）方向に設定した。

【0054】そして、このストライプパターン以外のSiNx膜をエッチング除去したのち、更にストライプパターンの上に残留しているレジスト膜をエッチング除去した。その結果、上記積層構造の上面には、SiNx膜から成るストライプパターンが形成された。このSiNx膜をマスクにして、次のようにしてメサストライプを形成した。

【0055】（1）まず、実施例1で用いた溶液（A）で室温下においてエッチングを行った。p-GaInAsP層36がエッチングされた。この溶液（A）はInPを溶解しないので、エッチングはp-InPクラッド層35の表面で自動的に停止した。

（2）次に、実施例1で用いた溶液（B）で室温下においてエッチングを行った。p-InPクラッド層35がエッチングされた。この溶液（B）はGaInAsPを溶解しないので、エッチングはp-GaInAsP層34の表面で自動的に停止した。

【0056】（3）ついで、臭素とメタノールを体積比で1:200に混合してなる溶液（E）を用い、室温下で、エッチングの深さが全体で8 $\mu$ mになるまでエッチングを行ってメサストライプを形成した。この溶液（E）は選択比が非常に小さいので、エッチング深さはエッチング時間で制御した。

【0057】実施例2の場合と異なり、メサストライプの方向が90°ずれているので形成されたメサストライプの側面は曲面であった。このようにして製造した半導体導波路に対し、次に、各メサストライプの間の溝に感光性ポリイミドを埋め込み、メサストライプ間の溝の深さを4~5 $\mu$ mに浅くした。このとき、ノンドープGaInAsP層（光吸収層）33の曲面は上記感光性ポリイミドで埋め込まれることになる。

【0058】ついで、常用のホトリソグラフィ技術により、各メサストライプのコンタクト層36の上にオー

ミック電極形成用のマスクパターンを形成したのち、そこにp型のオーミック電極を蒸着・装荷した。ついで、チップ化を容易にするために、n-InP基板31の裏面を研磨加工して基板の厚みを120 $\mu$ mに調整したのち、当該基板の裏面にn型のオーミック電極を蒸着・装荷した。

【0059】そして、次のスクライブ工程により、300 $\mu$ m幅のバー状に劈開を行い、劈開端面を有する素子にした。この劈開端面に対し、次のようなエッチングを行った。

（5）実施例2で用いた溶液（D）に、液温21℃において、上記素子を8秒間浸漬した。

【0060】その結果、劈開端面のうち、ノンドープGaInAsP層（光吸収層）33の劈開端面は、図7で示したように、外側に凸の曲面になっていた。そして、走査電顕でこの曲面を観察して曲率半径を測定したところ約100 $\mu$ mであった。そして最後に、上記端面にSiNxを蒸着することにより無反射膜を形成して受光素子にした。

【0061】この受光素子は、波長1.3 $\mu$ mの光は吸収するが波長1.55 $\mu$ mの光は吸収しない波長選別機能を備えている。この受光素子に、モードフィールド径が6 $\mu$ mの光ファイバーから信号光を入射して受光感度を測定した。波長1.3 $\mu$ mの光を0.95A/Wという高感度で受光した。

【0062】また、逆バイアス電圧3Vにおいて暗電流を測定したところ、素子100個の平均値で70pA、逆バイアス電圧5Vにおいて150pAと極めて低い値であった。同様の材料と積層構造の受光素子において、劈開端面とメサストライプの側面を曲面化しない従来の受光素子の場合、逆バイアス電圧3V、5Vにおける暗電流はそれぞれ180pA、270pAであることからすると、この実施例素子の暗電流特性は44~61%程度向上していることになる。

【0063】実施例5

実施例4において、劈開後における劈開端面のエッチングを次のような態様で行ったことを除いては、実施例4と同様にして受光素子を製造した。

（6）塩素と酢酸と過酸化水素水とを体積比で1:2:1に混合して成る溶液（F）を用い、液温18℃において劈開後の素子を10秒間浸漬した。

【0064】その結果、劈開端面のうち、ノンドープGaInAsP層（光吸収層）33の劈開端面は、図8で示したように、内側に凸の曲面になっていた。そして、走査電顕でこの曲面を観察して曲率半径を測定したところ約120 $\mu$ mであった。この受光素子に、モードフィールド径が6 $\mu$ mの光ファイバーから信号光を入射して受光感度を測定した。波長1.3 $\mu$ mの光を0.96A/Wという高感度で受光した。

【0065】また、逆バイアス電圧3Vにおいて暗電流

を測定したところ、素子100個の平均値で90 pA、逆バイアス電圧5 Vにおいて180 pAと極めて低い値であった。

#### 実施例6

実施例4において、劈開後における劈開端面のエッチングを次のような態様で行ったことを除いては、実施例4と同様にして受光素子を製造した。

【0066】(7) 実施例1で用いた溶液(A)をエッチャントとし、室温下において30秒間浸漬した。その結果、劈開端面のうち、ノンドープGaInAsP層(光吸収層)33の劈開端面は、図8で示したように、内側に凸の曲面になっていた。そして、走査電顕でこの曲面を観察して曲率半径を測定したところ約150 μmであった。

【0067】この受光素子に、モードフィールド径が6 μmの光ファイバーから信号光を入射して受光感度を測定した。波長1.3 μmの光を0.95 A/Wという高感度で受光した。また、逆バイアス電圧3 Vにおいて暗電流を測定したところ、素子100個の平均値で80 pA、逆バイアス電圧5 Vにおいて170 pAと極めて低い値であった。

#### 【0068】

【発明の効果】以上の説明で明らかなように、本発明の受光素子は、その半導体導波路におけるメサストライプにおいて少なくとも光吸収層の側面または／および劈開端面が曲面になっているので、単位胞内のダングリング結合の密度は小さく、またリークパスも長くなり、そのため、リーク電流の発生は低減し、暗電流特性が優れた

ものである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明受光素子の半導体導波路におけるメサストライプの基本的な側面形状を示す断面図である。

05 【図2】メサストライプの別の基本的な側面形状を示す断面図である。

【図3】実施例1のメサストライプにおける側面形状を示す断面図である。

10 【図4】実施例2のストライプにおける側面形状を示す断面図である。

【図5】実施例3のメサストライプにおける側面形状を示す断面図である。

【図6】実施例4のストライプにおける側面形状を示す断面図である。

15 【図7】実施例4の受光素子における半導体導波路の劈開端面形状を示す部分断面図である。

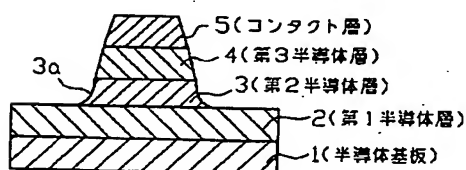
【図8】実施例5、6の受光素子における半導体導波路の劈開端面形状を示す断面図である。

20 【図9】従来の受光素子の半導体導波路におけるメサストライプの側面形状を示す断面図である。

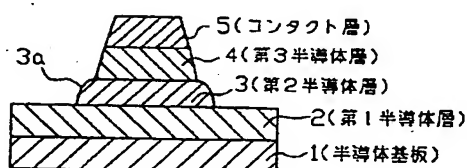
#### 【符号の説明】

- |               |        |
|---------------|--------|
| 1, 11, 21, 31 | 半導体基板  |
| 2, 12, 22, 32 | 第1半導体層 |
| 3, 13, 23, 33 | 第2半導体層 |
| 3a            | 曲面     |
| 5, 16, 26, 36 | コンタクト層 |
| 15, 25, 35    | クラッド層  |

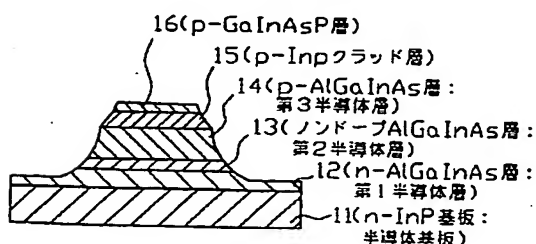
【図1】



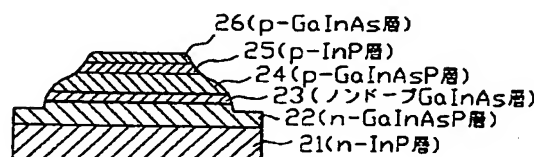
【図2】



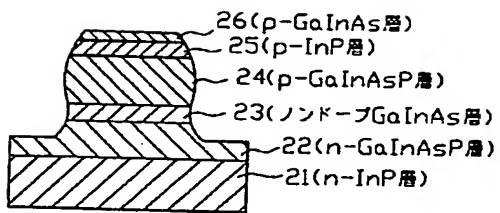
【図3】



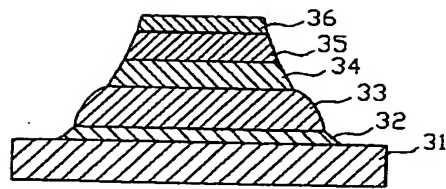
【図4】



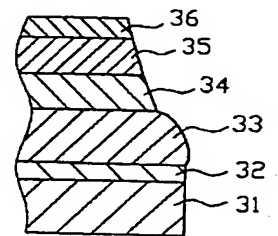
【図5】



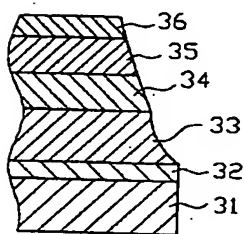
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

